

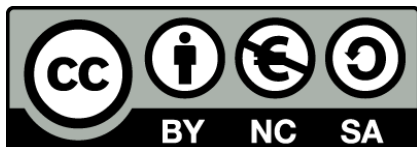


Φυσική II (Ε)

Ενότητα 3: Μετρήσεις με βατόμετρο

Ιωάννης Βαμβακάς

Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών Τ.Ε.



Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

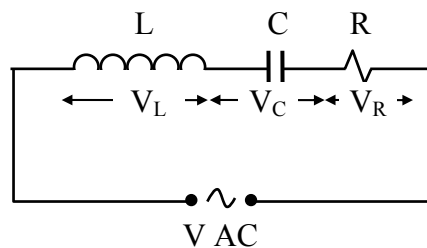
1. Σκοπός

Στην άσκηση χρησιμοποιούμε το βαττόμετρο ως μετρητικό όργανο της καταναλισκόμενης ισχύος σε κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος που περιλαμβάνουν διαδοχικά ωμική αντίσταση, πηνίο και πυκνωτή. Με βάση τις μετρήσεις αυτές οδηγούμαστε στον υπολογισμό της διαφοράς φάσης ρεύματος – τάσης και στη συνέχεια στον καθορισμό των στοιχείων του κυκλώματος (συντελεστής αυτεπαγωγής - χωρητικότητα).

2. Θεωρία

2.1 Κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος με ωμική αντίσταση, πηνίο και πυκνωτή σε σειρά

Το κύκλωμα του Σχήματος 1 περιλαμβάνει ωμική αντίσταση R, πηνίο αυτεπαγωγής L



Σχήμα 1

και πυκνωτή χωρητικότητας C συνδεδεμένα σε σειρά.

Η τάση που εφαρμόζεται είναι:

$$V = V_0 \sin \omega t \quad (1)$$

Εφαρμόζοντας το δεύτερο κανόνα του Kirchoff έχουμε:

$$V + V_L + V_C = iR \quad (2)$$

ή

$$V_0 \sin \omega t - L \frac{di}{dt} - \frac{\int i dt}{C} = iR$$

η οποία μετά από παραγωγή γίνεται

$$\omega V_0 \cos \omega t - L \frac{d^2 i}{dt^2} - \frac{1}{C} i = R \frac{di}{dt} \quad \text{ή}$$

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \omega V_0 \cos \omega t \quad (3)$$

Η λύση της διαφορικής αυτής εξίσωσης είναι:

$$i = i_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (4)$$

όπου φ η διαφορά φάσης ρεύματος – τάσης για την οποία ισχύει:

$$\tan \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \quad (5)$$

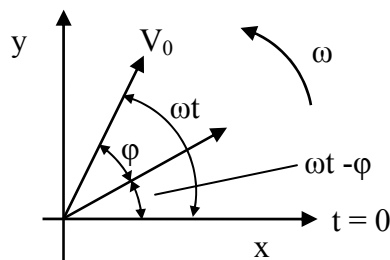
και το πλάτος του ρεύματος:

$$i_0 = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} \quad (6)$$

Η εμπέδηση (σύνθετη αντίσταση) Z του κυκλώματος είναι:

$$Z = \frac{V_0}{i_0} = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \quad (7)$$

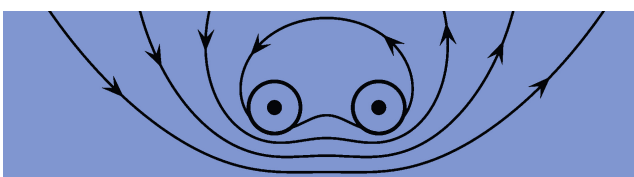
Επειδή τα στιγμιαία μεγέθη i , V είναι αρμονικά (ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενα) μπορούν να παρασταθούν διαμέσου των στρεφομένων διανυσμάτων των αντίστοιχων



Σχήμα 2

πλατών τους i_0 , V_0 με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω .

Προφανώς οι προβολές των V_0 , i_0 στον άξονα των y εκφράζουν τις στιγμιαίες τιμές V , i της τάσης και του ρεύματος αντίστοιχα (σχέσεις 1 και 4), όπως φαίνονται στο Σχήμα 2. Στις ειδικές περιπτώσεις όπου το κύκλωμα περιλαμβάνει:



α. Μόνο αντίσταση

Η σχέση 2 γράφεται:

$$i = i_0 \sin \omega t \text{ όπου}$$

$i_0 = \frac{V_0}{R}$ το πλάτος του ρεύματος, δηλαδή η ένταση του ρεύματος είναι συμφασική με την τάση στα άκρα της αντίστασης

β. Μόνο ιδανικό πηνίο

Η σχέση 2 γράφεται:

$$V - L \frac{di}{dt} = 0, \text{ από την οποία προκύπτει τελικά:}$$

$$i = i_0 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (8)$$

όπου $i_0 = \frac{V_0}{L\omega}$ και η επαγωγική αντίσταση του πηνίου είναι:

$$Z_L = L\omega \quad (9)$$

γ. Μόνο ιδανικό πυκνωτή

Η σχέση 2 γράφεται:

$$V - \frac{Q}{C} = 0 \text{ ή } Q = CV \text{ και επειδή } i = \frac{dQ}{dt} \text{ προκύπτει τελικά:}$$

$$i = i_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (10)$$

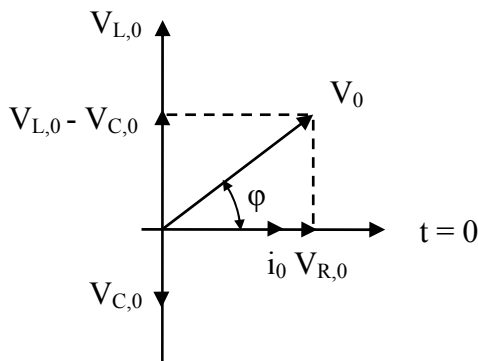
$$\text{όπου } i_0 = CV_0 \omega$$

και η χωρητική αντίσταση του πυκνωτή είναι:

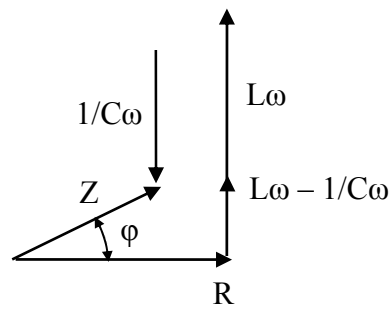
$$Z_C = \frac{1}{C\omega} \quad (11)$$

Από τις σχέσεις 8 και 10 φαίνεται ότι η φάση του ρεύματος στο πηνίο υστερεί κατά $\pi/2$ της φάσης της τάσης και προηγείται κατά $\pi/2$ στον πυκνωτή της φάσης της τάσης.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει το διάγραμμα τάσης – έντασης (Σχήμα 3) και το διάγραμμα των εμπεδήσεων (Σχήμα 4).



Σχήμα 3



Σχήμα 4

2.2 Ισχύς E.P

Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση $V = V_0 \sin \omega t$, οπότε στη γενική περίπτωση η ένταση του ρεύματος θα είναι:

$$i = i_0 \sin(\omega t - \varphi)$$

όπου φ η διαφορά φάσης μεταξύ ρεύματος και τάσης

Η ισχύς που καταναλώνει το κύκλωμα σε κάποια χρονική στιγμή t (στιγμιαία ισχύς) είναι:

$$P = Vi = V_0 i_0 \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi) \quad (12)$$

Επειδή το μέγεθος αυτό δεν έχει καμιά πρακτική σημασία, ορίζουμε τη μέση ισχύ \bar{P} ως το πηλίκο της ενέργειας που καταναλώνεται σε χρόνο μιας περιόδου δια της περιόδου αυτής, δηλαδή

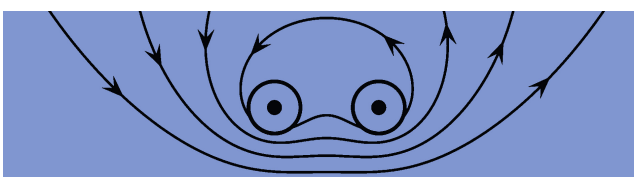
$$\bar{P} = \frac{W}{T} \quad (13)$$

Από τη σχέση $P = \frac{W}{T}$ υπολογίζεται η ενέργεια W που καταναλώνει το κύκλωμα σε χρόνο τ ως

$$W = V_0 i_0 \cos \varphi \tau = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \frac{i_0}{\sqrt{2}} \cos \varphi \tau \quad \text{ή}$$

$$W = V_{ev} i_{ev} \cos \varphi \tau \quad (14)$$

όπου V_{ev} , i_{ev} οι ενεργές τιμές της τάσης και της έντασης του ρεύματος αντίστοιχα, ενώ το μέγεθος $\cos \varphi$ ονομάζεται συντελεστής ισχύος



Έτσι η σχέση 13 γίνεται:

$$\bar{P} = V_{\text{ev}} i_{\text{ev}} \cos \varphi \quad (15)$$

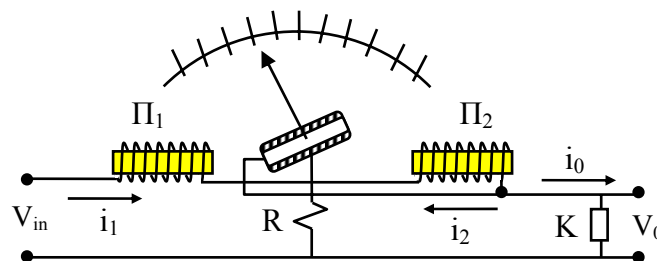
επειδή $V_{\text{ev}} = i_{\text{ev}} Z$ και $Z = \frac{R}{\cos \varphi}$ (Σχήμα 4), η σχέση 15 γίνεται:

$$\bar{P} = i_{\text{ev}}^2 R \quad (16)$$

δηλαδή στο κύκλωμα RLC η καταναλισκόμενη ενέργεια μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε θερμότητα στην ωμική αντίσταση.

3. Πειραματική διαδικασία

Το όργανο που χρησιμοποιείται στην άσκηση για τη μέτρηση της ισχύος ονομάζεται βαττόμετρο. Αποτελείται από το σταθερό πηνίο Π_1 που καλείται πηνίο ρεύματος και χαρακτηρίζεται από μικρή αντίσταση και το κινητό πηνίο Π_2 (πηνίο τάσης) που αποτελείται από πολλές σπείρες σύρματος μικρής διατομής.



Σχήμα 5

Το πηνίο Π_2 συνδέεται σε σειρά με μεγάλη αντίσταση R , έτσι ώστε το ρεύμα i_2 που διαρρέει το Π_2 και η τάση στην κατανάλωση V_0 έχουν μηδενική διαφορά φάσης (Σχήμα 5).

Αν τα ρεύματα που διαρρέουν τα πηνία Π_1 και Π_2 είναι αντιστοίχως i_1 , i_2 η ροπή που ασκείται στο πηνίο Π_2 θα είναι $M = c(i_1 i_2)$ και λόγω του ότι το i_2 είναι ανάλογο του V_0 , θα έχουμε:

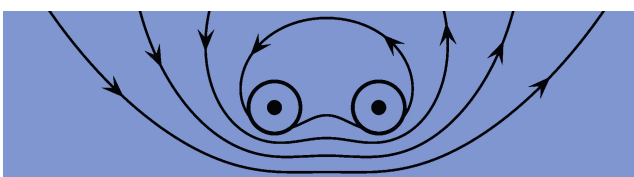
$$M = c_1(i_1 V_1) \quad (17)$$

όμως $i_1 \approx i_0$ επειδή η R έχει μεγάλη τιμή και συνεπώς η σχέση 17 γίνεται:

$$M = c_1(i_1 V_1) = c_1 P \quad (18)$$

όπου P η ισχύς που καταναλώνεται στον καταναλωτή K

Στην περίπτωση εναλλασσόμενου ρεύματος αναφερόμαστε σε μέσες τιμές μεγεθών, δηλαδή η σχέση 18 γίνεται:



$$\bar{M} = c_1 \bar{P}$$

Επειδή $\bar{M} = \kappa \varphi$

όπου φ η γωνία στροφής του κινητού πεδίου, θα έχουμε επομένως

$$\varphi = \frac{c_1}{\kappa} \bar{P} = c_2 \bar{P} \quad (19)$$

δηλαδή η γωνία στροφής είναι ανάλογη της ροπής. Αυτό δικαιολογεί γιατί η κλίμακα του βαττομέτρου είναι διαιρεμένη σε ισαπέχουσες ενδείξεις.

4. Εργασίες

1. Συναρμολογούμε το κύκλωμα του Σχήματος 5 τοποθετώντας αντίσταση $R = \dots\dots\dots$ στη θέση του καταναλωτή και μετρούμε την ισχύ που καταναλώνεται $P = \dots\dots\dots$ (W)
2. Μετρούμε την ένταση του ρεύματος $i = \dots\dots\dots$ (A) και της τάσης $V = \dots\dots\dots$ (volts) και υπολογίζουμε την καταναλισκόμενη από την αντίσταση ισχύ P .
3. Αντικαθιστούμε την αντίσταση με πηνίο και μετρούμε την ισχύ P από το βαττόμετρο, την ένταση i και την τάση V .
4. Υπολογίζουμε τη διαφορά φάσης φ από τα μετρηθέντα μεγέθη και τη σύνθετη αντίσταση Z του πηνίου.
5. Με βάση τη γωνία φ και τη σύνθετη αντίσταση Z βρίσκουμε γραφικά (χρησιμοποιώντας μιλιμετρέ) την επαγωγική αντίσταση του πηνίου Z_L και στη συνέχεια το συντελεστή αυτεπαγωγής L .
6. Επαναλαμβάνουμε την εργασία 3 χρησιμοποιώντας πυκνωτή.
7. Υπολογίζουμε τα μεγέθη φ και Z .
8. Γραφικά βρίσκουμε τη χωρητική αντίσταση Z_C του πυκνωτή και ακολούθως τη χωρητικότητα C του πυκνωτή.

Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας

Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Σημειώματα

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright ΤΕΙ Αθήνας, Ν. Ντρίβας, 2014. Ν. Ντρίβας. «Φυσική ΙΙ (Ε). Ενότητα 3: Μετρήσεις με βαττόμετρο». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: ocp.teiath.gr.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό. Οι όροι χρήσης των έργων τρίτων επεξηγούνται στη διαφάνεια «Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων».

Τα έργα για τα οποία έχει ζητηθεί άδεια αναφέρονται στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων

©	Δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, παρά μόνο εάν ζητηθεί εκ νέου άδεια από το δημιουργό.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου και η δημιουργία παραγώγων αυτού με απλή αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού, και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η δημιουργία παραγώγων του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου και η δημιουργία παραγώγων του.
διαθέσιμο με άδεια CC0 Public Domain	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο ως κοινό κτήμα	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
χωρίς σήμανση	Συνήθως δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου.

Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- Το Σημείωμα Αναφοράς
- Το Σημείωμα Αδειοδότησης
- Τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- Το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.